

Mitteilungen des Ausschusses für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie

Gleichungen zur Schätzung der Verdaulichkeit der Organischen Masse von grasbetonten Grünlandaufwüchsen für Wiederkäuer

1. Einleitung

Für eine bedarfsgerechte Energieversorgung landwirtschaftlicher Nutztiere muss der energetische Wert der Futtermittel bekannt sein. Bei Wiederkäuern ist die Umsetzbare Energie (ME) der in Deutschland und vielen anderen Ländern gültige Maßstab zur Energiebewertung. Die ME eines Futtermittels wird zwar nicht ausschließlich, jedoch zuvorderst durch die Verdaulichkeit der Energie beeinflusst. Die Verdaulichkeit der Energie steht in einer sehr engen Beziehung zur Verdaulichkeit der Organischen Masse (Organic Matter Digestibility, OMD), so dass die Bestimmung der OMD der initiale Schritt bei der Berechnung der ME im *dreistufigen Verfahren* ist (GfE 2023). Die Energieabgabe über den Harn und in Form von Methan wird in zwei weiteren Berechnungsschritten berücksichtigt.

Angesichts der zentralen Bedeutung der OMD bei der energetischen Futterbewertung einerseits und des hohen Aufwandes zur Messung der Verdaulichkeit in Tierversuchen andererseits werden Schätzverfahren benötigt, mit denen die OMD unter Laborbedingungen ermittelt werden kann. Im Folgenden werden Gleichungen vorgestellt, mit denen die OMD von grasbetonten Grünlandaufwüchsen auf der Basis von Nährstoffanalysen und *in vitro*-Daten geschätzt wird. Die Auswertung basiert auf Daten von Ackergrasaufwüchsen und solchen des Dauergrünlands, jeweils von frisch geerntetem, siliertem und getrocknetem Material. Der Leguminosenanteil der Aufwüchse betrug bis zu 50 %. Als *in vitro*-Kriterien wurden alternativ die enzymlösliche Organische Substanz (ELOS) und die im Hohenheimer Futterwerttest bestimmte Gasbildung (GB) verwendet. Die zugrundeliegenden Daten stammen aus Verdaulichkeitsversuchen mit Hammeln, die in Deutschland, Österreich und der Schweiz durchgeführt wurden. Der verwendete Datenpool ist eine Erweiterung des Datenpools, der bei früheren Ableitungen von Schätzgleichungen für die ME von Grasprodukten verwendet wurde (GfE 2008). Seinerzeit waren zwar die Daten zur OMD aus den Versuchen verfügbar, eine Schätzgleichung für die OMD wurde jedoch nicht abgeleitet. Für andere Gruppen von Grobfuttermitteln (Maisprodukte, Grobfutterleguminosen) wurden bereits Gleichungen zur Schätzung der OMD empfohlen (GfE 2017, 2020).

Verwendete Abkürzungen: **ADFom** = Säure-Detergenzien-Faser nach Veraschung; **aNDFom** = Neutral-Detergenzien-Faser nach Amylase-Behandlung und Veraschung; **CA** = Rohasche; **CL** = Rohfett; **CP** = Rohprotein; **ELOS** = Enzymlösliche Organische Substanz; **GB** = Gasbildung; **GE** = Bruttoenergie; **ME** = Umsetzbare Energie; **OM** = Organische Masse; **OMD** = Verdaulichkeit der Organischen Masse; **OR** = Organischer Rest; **R²** = Bestimmtheitsmaß; **RSD** = Residuale Standardabweichung; **SD** = Standardabweichung; **TM** = Trockenmasse

2. Daten und Vorgehensweise

Für die Auswertung wurden die Ergebnisse von insgesamt 747 Verdaulichkeitsversuchen verwendet, die in neun Versuchseinrichtungen (Tabelle 1) im Zeitraum von 1984 bis 2019 durchgeführt wurden. Die Inhaltsstoffe sowie die *in vitro*-Daten zu ELOS und GB wurden unter Verwendung der jeweils gültigen Standardverfahren ermittelt bzw. auf deren Grundlage berechnet. Für die Detergenzienfaserfraktionen lässt sich nicht für alle Proben eindeutig nachvollziehen, ob der Veraschungsschritt bei der Analyse vorgenommen wurde. In der Tabelle 2 sind die Daten zur näheren Charakterisierung des Materials zusammengefasst. Der verwendete Datenpool beinhaltet auch die 506 Datensätze, die bereits für die Ableitung der Schätzung der ME von Grasprodukten verwendet wurden (GfE 2008).

Tabelle 1: Anzahl und Herkunft der Datensätze

Landwirtschaftliches Zentrum Baden-Württemberg, Aulendorf	43
Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Dummerstorf	213
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Grub	36
Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt, Raumberg-Gumpenstein, Österreich	202
Universität Halle	4
Universität Kiel	4
Landesamt für Ländliche Entwicklung, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg, Paulinenaue	76
Agroscope, Liebefeld-Posieux, Schweiz	23
Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Haus Riswick	146

Tabelle 2: Inhaltsstoffe, *in vitro*-Daten und Verdaulichkeit der Organischen Masse im gesamten Datenmaterial (Mittelwert, Standardabweichung SD, Variationskoeffizient SD%, Minimum und Maximum)

	n	Mittelwert	SD	SD%	Min	Max
Rohasche	747	96	24,5	25,5	35	228
Organische Masse	747	904	24,5	2,7	772	965
Rohprotein	747	150	38,9	25,9	49	265
Rohfett	747	28	9,1	32,7	6	62
Rohfaser	747	267	40,8	15,3	144	396
aNDFom ¹	747	519	82,9	16,0	297	739
ADFom ¹	747	314	52,1	16,6	153	487
ELOS	682	617	86,3	14,0	312	863
Gasbildung	535	44,3	6,0	13,4	21,2	62,0
OMD	747	70,2	7,6	10,8	41,7	85,8

¹ Es ist nicht mehr für alle Proben eindeutig nachvollziehbar, ob der Veraschungsschritt und die Amylasevorbehandlung bei der Analyse vorgenommen wurden.

Das Datenmaterial wies mit Variationskoeffizienten zwischen 15 und 15,6 % für die Faserfraktionen, 25,9 % für Rohprotein, 31,4 % für Rohfett, etwa 13 % für die ELOS und die GB sowie 10,2 % für die OMD eine ausreichend hohe Variation zur Ableitung von Regressionsgleichungen auf. Die Ableitung der Schätzgleichungen erfolgte auf der Basis der in den Verdaulichkeitsversuchen gemessenen OMD, der analysierten Nährstoffkonzentrationen (CA, CP, CL, ADFom, aNDFom in g/kg Organische Masse; OM) und der *in vitro*-Größen GB (ml/200 mg OM) und ELOS (g/kg OM). Durch den Bezug der Rohnährstoffgehalte und der *in vitro*-Daten auf die OM wurde vermieden, dass die Rohasche-Konzentration in der Regressionsgleichung rechnerisch einen Einfluss auf die OMD bekommt, der nicht sachlogisch ist.

Für die mathematische Ableitung der Schätzgleichungen wurden nicht die Datensätze eines jeden Verdaulichkeitsversuches einzeln verwendet, sondern jeweilige Variablen-Mittelwerte von nach OMD klassifizierten Datensätzen. Der Grund für diese Herangehensweise war die fehlende Normalverteilung

der Daten über den Bereich der OMD sowohl bei den 682 Datensätzen mit ELOS als auch bei den 535 Datensätzen mit GB (Abbildung 1). Diese wirkte sich dahingehend aus, dass die untere Hälfte der nach OMD sortierten Daten den größeren Bereich zwischen 41,7 und 70,2 % vs. den deutlich kleineren Bereich zwischen 70,2 und 85,8 % für die obere Hälfte abdeckte. Daraus resultierte eine höhere Anzahl an Daten im oberen Bereich der Verdaulichkeit, die sich bei der linearen Ableitung grundlegender Zusammenhänge zwischen der OMD und den Variablen gerichtet auf die Regressionskoeffizienten auswirkte. Dieser Effekt konnte mit der Klassifizierung des Datensatzes umgangen werden.

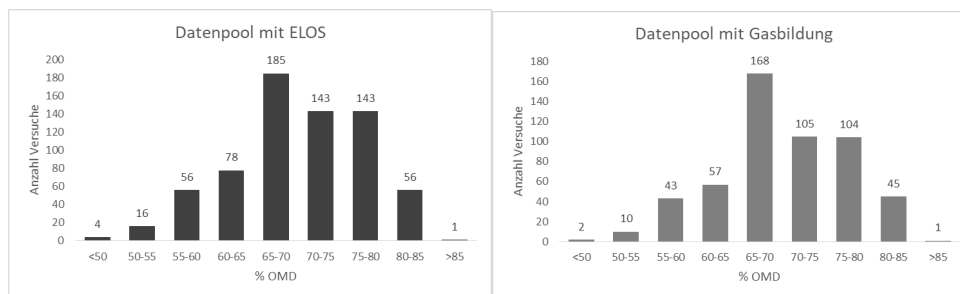


Abbildung 1: Häufigkeitsverteilung der Datensätze mit ELOS und mit GB nach Klassen der OMD

Für die mathematische Ableitung der Schätzgleichungen mit ELOS wurden alle 682 Datensätze, die ELOS enthielten, verwendet. Diese wurden in gleitende Klassen anhand der OMD aggregiert und für die dazugehörigen Variablen wurden Mittelwerte gebildet. Die kleinste Klasse bildeten die Datensätze mit OMD < 50 %. Die Klassen wurden mit 10 Prozentpunkten OMD-Spannweite im Abstand von drei Prozentpunkten OMD mit gleitenden Mittelwerten gebildet (Tabelle 3). Die letzte Klasse bildeten die Datensätze mit einer OMD > 80 %. Für die Ableitung der Schätzgleichungen mit GB wurden alle 535 Datensätze, die GB enthielten, mit demselben Vorgehen aggregiert und verwendet (Tabelle 4).

Tabelle 3: Mittelwerte der Datensätze mit ELOS nach gleitenden Klassen der OMD

Klasse OMD %	<i>n</i>	OMD %	CA	CP	CL	aNDFom g/kg TM	ADFom	ELOS
< 50	4	45,6	47	95	13,5	698	425	397
44 – 53	13	50,3	69	91	17,4	651	409	427
47 – 56	24	53,1	78	96	21,0	635	402	445
50 – 59	53	55,8	79	104	21,0	613	384	468
53 – 62	90	58,8	83	110	21,4	601	376	503
56 – 65	126	61,0	88	118	21,7	584	364	527
59 – 68	207	64,6	92	130	23,5	565	343	567
62 – 71	266	67,2	96	140	25,3	548	330	591
65 – 74	309	69,4	98	149	27,0	532	319	611
68 – 77	292	72,4	102	162	29,2	505	302	640
71 – 80	253	75,3	103	169	31,0	479	287	668
74 – 83	198	77,7	104	173	32,7	458	273	692
77 – 86	123	80,2	104	169	34,1	438	263	717
> 80	59	82,1	104	173	35,8	417	255	737

Tabelle 4: Mittelwerte der Datensätze mit Gasbildung (GB) nach gleitenden Klassen der OMD

Klasse OMD %	<i>n</i>	OMD %	CA	CP	CL	aNDFom	ADFom	GB ml/200 mg TM
g/kg TM								
< 50	2	45,6	38	95	10,8	708	406	26,3
44 – 53	6	51,2	81	96	17,5	625	384	30,5
47 – 56	14	53,2	81	95	17,8	632	383	34,0
50 – 59	41	56,3	83	107	20,5	601	366	36,4
53 – 62	68	58,7	83	110	21,1	600	366	39,2
56 – 65	99	60,9	87	119	22,2	583	358	40,6
59 – 68	168	64,9	93	130	23,9	565	340	42,5
62 – 71	233	67,3	97	142	25,7	546	326	43,0
65 – 74	265	69,3	99	149	26,9	535	318	43,7
68 – 77	236	72,2	103	162	28,7	514	303	44,9
71 – 80	185	75,2	107	169	30,5	491	288	46,7
74 – 83	147	77,8	107	174	32,5	467	271	48,3
77 – 86	93	80,3	108	171	34,6	441	256	50,2
>80	47	82,1	106	173	35,9	419	245	51,4

In einem ersten Schritt wurden jeweils alle Variablen zur Schätzung der OMD auf der Basis der Nährstoffgehalte und ELOS (in g/kg OM) oder GB (in ml/200 mg OM) einbezogen und die Gleichungen anhand ihres Bestimmtheitsmaßes (R^2) und die Residuale Standardabweichung (RSD) miteinander verglichen. In einem zweiten Schritt wurden Gleichungen mittels SAS[®] (Version 9.4) unter Nutzung der Prozedur PROC REG bei schrittweiser Parameterauswahl abgeleitet. Dabei wurden nur die Variablen berücksichtigt, die ein Signifikanzniveau von $p < 0,15$ aufwiesen. Die jeweils unter Beachtung der Werte für R^2 und RSD günstigsten Gleichungen wurden ausgewählt.

3. Ergebnisse und Gültigkeitsbereich der Formeln

Schätzgleichungen, die kein *in vitro*-Kriterium als Variable enthielten, waren in den Güteparametern deutlich schlechter als diejenigen mit einem *in vitro*-Kriterium. Daher werden die beiden folgenden Gleichungen für die Schätzung der OMD von grasbetonten Grünlandaufwüchsen empfohlen. Bestimmtheitsmaß und RSD wurden anhand der Differenz der Funktionswerte dieser Gleichungen und den OMD-Werten der Einzelversuche ermittelt.

Bei Verwendung von ELOS:

$$\begin{aligned}
 [1] \quad \text{OMD (\%)} &= 12,32 \\
 &+ 0,2451 \cdot \text{CL} \quad (\text{g/kg OM}) \\
 &+ 0,0733 \cdot \text{ELOS} \quad (\text{g/kg OM})
 \end{aligned}$$

$R^2 = 0,71$; RSD in % des Mittelwertes = 6,9; Anzahl Einzelwerte $n = 682$

Bei Verwendung von GB:

$$\begin{aligned}
 [2] \quad \text{OMD (\%)} &= 58,3 \\
 &+ 0,0926 \cdot \text{CP} \quad (\text{g/kg OM}) \\
 &- 0,0487 \cdot \text{aNDFom} \quad (\text{g/kg OM}) \\
 &+ 0,5020 \cdot \text{GB} \quad (\text{ml/200 mg OM})
 \end{aligned}$$

$R^2 = 0,70$; RSD in % des Mittelwertes = 6,5; Anzahl Einzelwerte $n = 535$

Auf Basis der Nährstoffgehalte in dem für die Ableitung der Gleichungen genutzten Datenpool (Tabelle 2) wird folgender Geltungsbereich für die Schätzung der OMD angegeben:

ELOS:	330 – 740	g/kg TM
GB:	20 – 65	ml/200 mg TM
ADFom:	150 – 490	g/kg TM
aNDFom:	300 – 740	g/kg TM
CL:	bis 60	g/kg TM
CP:	bis 270	g/kg TM
CA:	bis 230	g/kg TM

Falls die Analysenergebnisse einer Futterprobe außerhalb dieser Bereiche liegen, nimmt die Genauigkeit der Schätzung ab. Bei der Ausweisung der Ergebnisse ist auf diesen Umstand hinzuweisen.

Bei Verwendung von ELOS führte eine Einbeziehung von Faserfraktionen nicht zu einer Erhöhung der Schätzgüte. Die Bestimmung von aNDFom und ADFom ist somit für die energetische Futterbewertung nicht erforderlich, wenn die ELOS bestimmt wird. Die Notwendigkeit der Bestimmung dieser Fraktionen für andere Zwecke der Futterbewertung bleibt hiervon unberührt.

Die Variablenkombination in der Gleichung 2 kann zu einer Unterschätzung der OMD führen, wenn in Proben eine hohe GB ermittelt wurde, die CP-Konzentration jedoch sehr niedrig ist. Dieser Effekt ließe sich bei dem hier gewählten Vorgehen nur vermeiden, wenn eine insgesamt geringere Schätzgüte akzeptiert würde. Der Ausschuss weist darauf hin, dass dies durch die regressionsanalytische Auswertung bedingt ist und hieraus kein Grund für eine Steigerung der CP-Konzentrationen zum Zwecke einer OMD-Erhöhung abgeleitet werden darf.

4. Berechnung der ME

Mit der Überarbeitung der Versorgungsempfehlungen für Milchkühe wurde das *dreistufige Verfahren* zur Berechnung der ME eingeführt (GfE 2023). Dieses Verfahren führt bei einer Reihe von Futtermitteln zu anderen ME-Werten als das zuvor verwendete Vorgehen, bei dem die ME aus den verdaulichen Rohnährstoffen berechnet wurde (GfE 2001). Mit der Einführung des *Dreistufigen Verfahrens* verlieren daher die Gleichungen an Gültigkeit, die zuvor für die Schätzung der ME in Grasprodukten empfohlen wurden (GfE 2008). Zukünftig gelten die hier vorgestellten Gleichungen zur Schätzung der OMD und die Gleichungen der GfE (2023) zur weiterführenden Berechnung der ME:

$$\text{ME (MJ/kg TM)} = [(\text{GE (MJ/kg OM)} \cdot (\text{OMD (\%)} - 3,3) / 100 - 0,0037 \cdot \text{CP (g/kg OM)}) - (0,7 + 0,014 \text{ OMD (\%)})] \cdot (1 - \text{CA (g/kg TM)/1000})$$

Die Bestimmung der Bruttoenergie erfolgt mittels Kalorimetrie unter Berücksichtigung der CA-Analyse (GE, MJ/kg OM). Wenn eine kalorimetrische Bestimmung nicht möglich ist, kann eine Berechnung mit der folgenden Gleichung vorgenommen werden:

$$\text{GE (kJ/kg OM)} = (23,6 \text{ CP} + 39,8 \text{ CL} + 17,3 \text{ Stärke} + 16,0 \text{ Zucker} + 18,9 \text{ OR}) / (1 - \text{CA}/1000)$$

wobei OR (Organischer Rest) = OM – CP – CL – Stärke – Zucker (g/kg TM).

5. Abschließende Bemerkung

Eine weitere Verbesserung der Schätzgenauigkeit ist grundsätzlich möglich, wenn zusätzliche Analysendaten berücksichtigt werden. Der Ausschuss für Bedarfsnormen hält es für erforderlich, dass in zukünftigen Verdaulichkeitsuntersuchungen sowohl die ELOS als auch die GB im Hohenheimer Futterwerttest analysiert werden.

6. Literatur

- GfE [Gesellschaft für Ernährungsphysiologie] (2001): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtrinder. DLG-Verlag, Frankfurt a.M.
- GfE [Gesellschaft für Ernährungsphysiologie] (2008): Communications of the Committee for Requirement Standards of the Society of Nutrition Physiology: New equations for predicting metabolisable energy of grass and maize products for ruminants. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 17, 191-198.
- GfE [Gesellschaft für Ernährungsphysiologie] (2017): Communications of the Committee for Requirement Standards of the Society of Nutrition Physiology: Equations for predicting metabolisable energy and digestibility of organic matter in forage legumes for ruminants. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 26, 186-193.
- GfE [Gesellschaft für Ernährungsphysiologie] (2020): Mitteilungen des Ausschusses für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie: Gleichungen zur Schätzung der Umsetzbaren Energie und der Verdaulichkeit der Organischen Masse von Maisprodukten für Wiederkäuer. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 29, 171-175.
- GfE [Gesellschaft für Ernährungsphysiologie] (2023): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Milchkühen. DLG-Verlag, Frankfurt a. M., im Druck.

Adresse:

Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie
Eschborner Landstraße 122
60489 Frankfurt am Main

Mitglieder:

Eder, K., Gießen
Kampf, D., Frankfurt
Kamphues, J., Hannover
Rodehutschord, M., Stuttgart-Hohenheim (Vorsitzender)
Schenkel, H., Stuttgart-Hohenheim
Südekum, K.-H., Bonn
Susenbeth, A., Kiel
Windisch, W., Freising-Weihenstephan
Zentek, J., Berlin

Sachverständige:

Losand, B., Dummerstorf
Piepho, H.-P., Stuttgart-Hohenheim
Kuhlow, T., Dummerstorf